

TD EM7

Propagation des ondes EM dans un plasma

A. Ondes EM et plasma

Un plasma est un gaz totalement ionisé constitué d'ions de charge $+e$ et de masse m_i et d'électrons de charge $-e$ et de masse m_e . Les déplacements de ces charges se font sans frottement. Les nombres volumiques d'électrons et de cations ont même valeur n_0 , de telle sorte que le plasma est localement neutre.

On étudie la propagation dans ce plasma d'une onde électromagnétique plane progressive transversale se propageant dans la direction $\vec{u}_x$ et décrite par un champ électrique de la forme $\vec{E}(x, t) = E_0 e^{i(\omega t - kx)} \vec{u}_y$ et un champ magnétique $\vec{B}(x, t)$ de valeur moyenne temporelle nulle. Du fait que l'espace n'est pas vide, on s'attend à k différent de $\frac{\omega}{c}$.

Cette onde met en mouvement les charges : il y a donc apparition d'une densité de courant. On néglige toute autre force que les forces électromagnétiques.

1. Vérifier, avec l'équation de MAXWELL-GAUSS, que le plasma reste bien neutre en présence de l'onde. Établir l'expression du champ magnétique $\vec{B}(x, t)$. A quelle condition sur la vitesse des particules, peut-on négliger la force magnétique devant la force électrique. Cette condition est supposée vérifiée dans la suite, de telle sorte que le mouvement des particules a lieu dans la direction du champ électrique.
2. Déterminer (en notation complexe) l'expression de la densité de courants $\vec{j}$ en fonction du champ électrique $\vec{E}$ (et des caractéristiques du plasma). Dans toute la suite, on négligera l'influence du mouvement des ions sur la densité de courant : justifier le bien fondé de cette approximation.
3. Définir et exprimer la conductivité complexe du plasma. Que peut-on en conclure sur la puissance moyenne cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charges ?
4. Établir l'équation de propagation du champ $\vec{E}$. En déduire la relation de dispersion des ondes, c'est-à-dire la relation entre k et ω .
5. Montrer qu'une OPPH ne peut effectivement se propager que si ω est supérieure à une pulsation critique ω_c qu'on exprimera. Exprimer dans ce cas la vitesse de propagation dite vitesse de phase.
6. Dans le cas où $\omega < \omega_c$ écrire la forme des champs $\vec{E}$ et $\vec{B}$. Quelle est alors la puissance moyenne transportée par l'onde à travers une surface S ? Commenter.

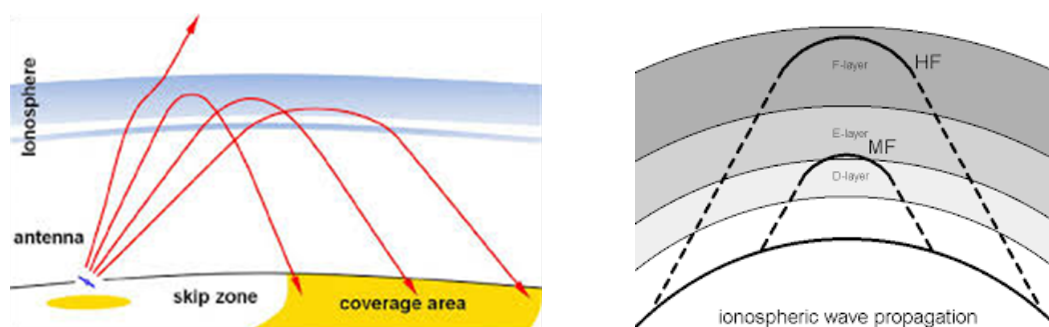


FIGURE 1 – Transparence d'un plasma ?

B. Réflexion et transmission à travers un plasma _____ Centrale •••

Un plasma occupe le demi-espace $z > 0$ (le demi-espace $z < 0$ est vide). Une onde plane progressive monochromatique, polarisée rectilignement, arrive en incidence normale sur ce plasma :

$$\vec{E}_i = E_0 \exp(i(\omega t - k_0 z)) \vec{u}_x \quad \text{avec} \quad k_0 = \frac{\omega}{c}$$

On rappelle que, dans le plasma, la relation de dispersion est $k^2 = \frac{\omega^2 - \omega_p^2}{c^2}$.

On appelle $\underline{r}$ et $\underline{t}$ les coefficients de réflexion et transmission en amplitude pour le champ électrique, c'est-à-dire par exemple que l'amplitude du champ électrique réfléchi en $z = 0$ est $\underline{r}E_0 \exp(i\omega t)$.

1. Écrire la forme des champs électriques et magnétiques, réfléchis et transmis.
2. En utilisant la continuité des champs électrique et magnétique entre $z = 0^-$ et $z = 0^+$, calculer $\underline{r}$ et $\underline{t}$ en fonction de $\underline{n} = \frac{k}{k_0}$.
3. En déduire les coefficients de réflexion R (transmission T) en énergie, définis comme le rapport des normes des vecteurs de POYNTING moyens réfléchis (transmis) et incidents à l'interface. On les exprimera en fonction de $\underline{r}$ et $\underline{t}$.
4. Calculer explicitement $\underline{n}$, puis R et T dans le cas où $\omega < \omega_p$. Que conclure ?
5. Dans le cas où $\omega > \omega_p$, calculer R et T en fonction de $\underline{n}$, dont on donnera aussi l'expression. Commenter le cas $\omega = 0$.
6. Quelle relation existe entre R et T ? Quelle est son interprétation physique ?